

과제구분	기본	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
친환경 농산물 안전재배기술 개발		농업환경	'14~'16	농업기술원 환경농업연구과	장재은
바이오차를 이용한 토양관리 기술 개발		농업환경	'14~'16	농업기술원 환경농업연구과	장재은
색인용어	농업부산물, 바이오차, 토양개량, 배추, 토마토				

ABSTRACT

Biochar is carbon rich material produced from the various biomass and pyrolysis temperature. This study was conducted to develop the manufacturing method of biochar using agricultural byproduct and its application effects on the crop growth and soil physicochemical properties. In this study, seven biochars made of agricultural byproducts such as pruned stems of apple and pear, mushroom waste medium, harvested stems of pepper, bean and perilla, and rice husk produced at heating temperature of 300, 500 and 700℃ in heating times of 2, 3 and 4 hours, were tested in the changes of their chemical properties during biochar processing and the application effects on lettuce growth. And also, were conducted the experiments to investigate the application rate effects of biochar made of pruned stem of pear tree on the cultivation of chinese cabbage and tomato for 2 years(2015~2016).

The pH, K, and CEC increased as the pyrolysis temperature increased during the production of biochar using agricultural byproducts, and the change of these properties rapidly occurred at 500℃. However, as the pyrolysis temperature increased, ash content increased and T-C, yield decreased. These acted as limiting factors, but the change of the properties in response to the heating time was not shown to a large extent. It was thought that it would be desirable to set the production conditions of biochar using of agricultural byproducts at 500℃ for 2 hours in consideration of the change of chemical properties and the ash content and yield. Application of biochar could enhance soil pH, total carbon and physicochemical improvement of soil for cultivation of chinese cabagge and tomato. This study demonstrated the effects of the biochars derived from agricultural byproduct to be as a low cost potential soil ameliorant by physicochemical properties.

Key words : Soil improvement, Agricultural byproduct, Biochar, Chineses cabbage, Tomato

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

1. 연구목표

바이오차(biochar)는 목재칩과 가축분뇨와 같은 산림과 농축산업 등에서 발생한 부산물 바이오매스를 열분해(pyrolysis)를 통해 만들어진 물질이다. 전통적인 목탄은 주로 연료로 생산되었으나 바이오차는 토양개량 및 기후변화의 완화, 재생 에너지 생산 등 다양한 목적으로 이용 가능하다고 보고되어 있다(신 등, 2016; 최 등, 2015; 안 등, 2014; 서 등, 2014).

바이오차는 많은 공극을 갖고 있어 미생물의 활력 유지를 위한 거처로 이용된다고 보고되었으며(우 등, 2013), 그 밖에 토양의 투수성, 보수성, 통기성 등 물리적 성질을 개량하고, pH 조정, 양분 및 수분 보유력의 증가, 온실가스배출 저감 등의 다양한 효과가 있어 현재 미국과 유럽 중심으로 협회를 창설하여 많은 연구가 진행되고 있다. 바이오차를 토양에 시용하면 탄소격리, 토양개량 효과 등의 이점이 있으나 재료 및 제조특성에 따라 효과가 다르다고 보고되어 있다(한 등, 2014). 하지만 현재 국내에서 생산되는 바이오차의 대부분은 미곡처리장의 탄화시스템에서 생산된 왕겨 바이오차로, 이 외의 농업부산물로 만들어진 바이오차 토양처리효과에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 도내 농업부산물 종류별로 제조온도와 가열시간 등 최적의 바이오차 제조조건을 확립하고, 이를 이용한 토양염류 및 구조개선 효과를 구명하여 도내 설재배지 친환경 토양관리기술을 개발하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

<바이오차 제조기술 개발 및 시용효과 구명(포트재배)>

본 연구는 '14년부터 '16년까지 3년간 경기도농업기술원 시험포장 내 비닐하우스에서 실시하였다. '14년에는 도내 농업부산물 종류(배 전정지, 사과전정지, 버섯폐배지, 왕겨, 고춧대, 콩대, 들깨대 7종), 제조온도(300, 500, 700℃), 가열시간(2, 3, 4시간)별로 전기로에서 바이오차를 제조하여 성분변화를 조사하였고, 시용효과를 상추 포트재배를 통하여 확인하였다. 포트재배(지름 20cm 포트)에 사용한 바이오차는 500℃, 2시간에서 제조하였으며 시험전 토양에 1, 2, 5% 비율로 혼합하여 혼합비율에 따른 토양화학성 변화와 상추 생육 및 수량 등을 조사하여 가장 효과가 우수한 농업부산물 바이오차를 선발하였다.

<바이오차 연용효과 포장 검정>

'15년부터 '16년까지 무시용, 배 전정지 바이오차 100, 200, 300kg/10a, 왕겨 바이오차 200kg/10a 등 총 5처리를 두고 시험구를 난괴법 3반복으로 배치하여 2년간 연용하면서 토양 이화학적, 작물생육 및 수량 등을 조사하였다. '15년에는 배추는 봄작기에 4월 2일 정식하여 5월 28일 수확하였으며, 가을작기에는 9월 1일 정식하여 11월

2일 수확하였고, 토마토는 봄작기에 4월 2일 정식하여 7월 25일까지 재배하였으며 가을작기에는 8월 24일 정식하여 11월 17일까지 재배하였다. '16년에는 배추는 봄작기에 3월 25일 정식하여 5월 27일 수확하였으며, 가을작기에는 8월 31일 정식하여 10월 31일 수확하였고, 토마토는 봄작기에 3월 28일 정식하여 7월 25일까지 재배하였으며 가을작기에는 8월 8일 정식하여 11월 17일까지 재배하였다. 포장시험에 사용한 배 전정지 바이오차는 드럼통 바이오차 제조장치(훈탄기)를 이용하여, 드럼통 바이오차 제조장치(500L)에 수분 10% 이하의 파쇄한 배전정지(80~90kg)를 넣고 점화, 4~5시간 후 하단부 개폐구가 닫히면 하단부 개폐구를 10분간 열어 완전히 탄화시키고 연기가 잦아드는 것을 보면서 2~3시간 후 물을 충분히 흘려 소화한 후 비닐하우스 내에서 건조시켜 사용하였으며, 시험재료와 가열시간별로 제조한 바이오차의 화학성은 표 1과 같다.

표 1. 시험재료의 화학성

(단위 : %)

시험재료	OM	T-N	T-C	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	회분	수분
배 전정지	95.3	0.5	53.8	0.3	0.6	1.2	0.2	0.0	3.2	1.5
사과 전정지	93.9	0.7	52.2	0.3	0.5	1.3	0.2	0.0	3.4	2.7
버섯폐배지	92.1	1.9	51.2	0.5	0.5	0.8	0.6	0.1	3.3	4.6
왕겨	82.0	0.3	47.2	0.1	0.6	0.2	0.1	0.0	14.5	3.5
고춧대	89.2	1.5	50.9	0.5	3.2	1.5	0.6	0.0	8.2	2.6
콩대	90.6	0.8	51.7	0.2	2.4	1.4	0.8	0.0	6.7	2.7
들깨대	87.3	0.4	50.0	1.1	4.0	1.8	0.5	0.0	9.7	3.0

3. 결과 및 고찰

<바이오차 제조기술 개발>

도내 주요 농업부산물 종류별(배 전정지, 사과전정지, 버섯폐배지, 왕겨, 고춧대, 콩대, 들깨대 7종), 제조온도(300, 500, 700℃), 가열시간(2, 3, 4시간)별로 바이오차를 제조하여 성분변화를 조사한 결과는 표 2와 같다. 바이오차 제조시 제조온도가 높을수록 pH, K, CEC는 증가하였고 이러한 성분변화는 500℃에서 급격히 일어났다. 하지만 제조온도가 증가할수록 회분함량이 증가하고 T-C와 수율은 감소하여(표 3) 제한요인으로 작용하였다. 또한 가열시간에 따른 성분변화는 크게 나타나지않아 바이오차 제조시에는 가열시간보다는 재료와 온도에 따라 성분변화가 큰 것으로 나타났다. 따라서 바이오차 성분변화 및 회분, 수율을 고려하여 농업부산물 바이오차 제조조건은 500℃, 2시간으로 설정하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

표 2. 재료 및 제조방법별 바이오차 성분변화

처 리 내 용			pH (1:5)	Ex-Cation(cmol kg ⁻¹)				CEC (cmol kg ⁻¹)	T-N (%)	T-C (%)	회분 (%)
바이오차 종류	온도 (°C)	시 간 (hr)		K	Ca	Mg	Na				
배 전정지	300	2	6.7	15.7	4.5	5.7	0.3	36.5	1.3	51.0	8.2
		3	5.9	22.8	5.6	7.4	0.3	50.9	1.4	50.9	8.4
		4	6.2	18.0	4.8	6.1	0.2	40.5	1.4	50.8	8.3
	500	2	7.9	37.1	11.2	8.6	0.5	57.4	1.4	47.3	14.8
		3	8.2	39.2	12.2	9.7	0.5	61.6	1.4	48.4	12.9
		4	9.5	35.5	9.6	7.2	0.4	52.7	1.4	48.1	11.4
	700	2	10.6	42.1	7.0	10.1	0.5	59.7	1.3	46.3	16.6
		3	10.9	51.4	7.4	9.9	0.6	69.3	1.2	46.3	16.6
		4	10.9	48.6	6.7	10.2	0.6	66.1	1.3	47.6	14.3
사과전정지	300	2	6.1	18.1	14.5	6.8	0.5	54.0	1.3	51.2	7.8
		3	6.3	13.8	12.8	5.4	0.5	44.0	1.4	51.3	7.7
		4	5.9	18.5	14.5	6.8	0.5	54.8	1.4	50.9	8.5
	500	2	8.4	37.1	19.8	10.3	0.7	67.9	1.3	47.4	14.6
		3	8.5	33.8	17.5	9.8	0.8	61.9	1.3	49.1	11.6
		4	8.7	33.1	16.8	10.3	0.8	60.9	1.4	45.7	17.7
	700	2	10.5	46.7	12.5	11.4	1.1	71.7	1.2	45.7	17.8
		3	10.8	57.1	12.1	14.8	1.3	85.3	1.3	45.7	17.8
		4	10.7	49.7	11.1	11.2	1.2	73.2	1.2	47.4	14.7
버섯폐배지	300	2	6.7	18.9	6.9	12.5	5.6	55.2	3.4	50.7	8.7
		3	6.4	26.4	8.9	19.4	8.1	75.4	3.6	50.3	9.4
		4	6.8	20.3	7.3	14.8	6.3	58.9	3.6	50.8	8.6
	500	2	9.2	34.6	9.2	22.0	8.6	74.3	3.1	49.0	11.8
		3	9.4	39.5	9.0	28.0	9.8	86.3	3.4	47.9	13.7
		4	10.1	32.2	7.8	20.1	8.2	68.3	3.3	48.6	12.6
	700	2	10.5	46.0	7.5	19.1	12.3	84.8	2.8	44.3	20.2
		3	11.0	53.1	8.2	24.9	13.9	100.1	2.6	44.3	20.2
		4	10.8	56.0	10.6	43.2	12.9	122.7	2.7	47.6	14.3
왕겨	300	2	5.3	21.9	2.1	1.3	0.4	43.2	0.7	39.4	29.1
		3	5.5	22.5	2.1	1.2	0.3	42.2	0.6	39.6	28.7
		4	5.2	19.2	2.0	1.3	0.3	40.3	0.7	39.6	28.8
	500	2	7.7	33.1	5.5	2.4	0.4	44.7	0.3	33.4	39.9
		3	8.2	31.2	4.7	2.6	0.4	39.5	0.5	33.3	40.1
		4	8.1	32.7	4.6	2.7	0.4	41.1	0.5	31.8	42.7
	700	2	10.1	34.6	4.4	3.0	0.6	42.5	0.5	27.8	50.0
		3	10.1	35.3	4.7	3.1	0.6	43.7	0.5	27.3	50.0
		4	10.1	32.4	4.9	2.9	0.5	40.8	0.4	29.3	47.3

처리 내용			pH (1:5)	Ex-Cation(cmol kg ⁻¹)				CEC (cmol kg ⁻¹)	T-N (%)	T-C (%)	회분 (%)
바이오차 종류	온도 (°C)	시간 (hr)		K	Ca	Mg	Na				
고춧대	300	2	7.1	149.3	2.4	37.5	1.4	195.1	2.5	45.4	18.2
		3	6.8	154.7	2.8	32.2	1.1	198.5	2.3	46.4	16.5
		4	6.7	128.9	2.6	28.5	1.1	169.3	2.4	46.4	16.5
	500	2	10.0	224.5	13.5	22.8	2.5	263.2	1.8	39.6	28.7
		3	9.9	209.6	12.1	19.9	2.2	243.8	1.9	40.9	26.5
		4	10.5	244.2	14.8	22.7	2.7	284.4	1.9	39.4	29.1
	700	2	11.4	313.6	14.0	38.8	3.3	369.7	1.8	37.7	32.2
		3	12.0	303.8	17.3	75.7	3.5	400.4	2.1	39.9	28.2
		4	10.5	275.0	13.6	43.0	3.4	334.9	2.1	32.9	40.9
콩대	300	2	7.0	102.6	33.2	52.7	1.0	193.8	1.3	47.7	14.2
		3	6.9	104.3	34.1	51.9	1.1	197.7	1.3	48.1	13.4
		4	7.1	91.3	32.0	48.6	0.9	175.4	1.9	48.0	13.7
	500	2	10.0	145.9	24.2	34.5	1.3	206.0	1.3	42.8	23.0
		3	10.0	167.9	37.5	41.6	1.5	248.6	1.4	42.4	23.6
		4	10.4	163.9	35.6	41.5	1.9	243.0	1.2	44.0	20.8
	700	2	11.4	259.6	8.5	91.5	2.4	362.0	1.3	32.8	37.3
		3	11.5	236.2	8.9	81.7	1.9	328.8	2.0	38.3	31.0
		4	11.2	269.3	11.0	110.4	2.6	393.4	1.2	36.6	34.2
들깨대	300	2	6.5	189.5	33.5	29.4	0.8	261.5	0.8	44.1	20.7
		3	6.7	205.5	32.6	29.5	0.8	274.6	0.7	43.6	21.6
		4	6.8	212.2	36.4	32.7	0.8	285.8	0.7	43.3	22.1
	500	2	9.8	297.9	20.9	4.3	1.1	324.2	0.5	36.9	33.6
		3	9.8	372.3	23.9	5.1	1.2	402.5	0.6	36.4	34.4
		4	10.3	451.7	31.2	6.9	1.5	491.4	0.6	35.6	36.0
	700	2	11.3	598.5	60.2	26.6	2.7	688.0	0.9	27.3	50.8
		3	11.3	451.0	49.4	28.4	2.3	531.1	0.9	26.2	52.9
		4	10.3	320.5	19.4	141.4	3.3	484.6	0.7	27.8	49.9

표 3. 시험재료별 바이오차 수율

(단위 : %)

바이오차 종류	제조 온도 및 시간								
	300℃			500℃			700℃		
	2시간	3시간	4시간	2시간	3시간	4시간	2시간	3시간	4시간
배전정지	48.7	45.4	45.3	28.2	28.1	27.5	23.0	21.0	22.3
사과전정지	47.1	45.5	45.6	28.0	26.2	26.6	20.3	19.9	19.2
버섯폐배지	46.8	42.0	40.3	27.4	28.6	30.2	22.7	20.6	23.5
왕겨	50.9	53.2	50.3	36.6	34.5	32.1	28.0	26.5	29.5
고춧대	44.5	44.6	43.1	26.9	26.6	25.3	20.7	20.5	18.7
콩대	40.4	41.5	41.3	24.5	25.5	22.7	17.0	17.1	17.0
들깨대	42.2	38.6	39.3	23.6	24.6	21.8	15.9	15.4	14.1

<바이오차 시용효과 구명(포트재배)>

가. 토양화학성 변화

배 전정지, 사과전정지, 버섯폐배지, 왕겨, 고춧대, 콩대, 들깨대 등 7종의 농업부산물을 대상으로 시용량별로 처리하여 상추를 포트재배한 결과는 표 4와 같다. 시험전에 비해 바이오차 혼합비율이 증가할수록 무처리 대비 토양 pH, OM, Av.P₂O₅, T-C, CEC, K, Ca와 수분함량이 증가하였으나, NO₃-N는 감소하는 경향을 나타내었다.

표 4. 시험전후 토양의 화학성

처리내용		pH	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	T-N (%)	T-C (%)	Ex.cation(cmol kg ⁻¹)				CEC (cmol kg ⁻¹)	수분 (%)
바이오차종류	첨가비(%)								K	Ca	Mg	Na		
시험전	-	6.4	16.2	26	512	1,191	0.2	0.5	1.06	19.3	8.2	2.8	11.6	-
무처리	-	7.4	3.1	23	501	17.5	0.1	1.4	0.60	12.7	4.6	1.3	11.8	13.8
배전정지	1	7.4	4.2	23	492	7.3	0.1	2.2	1.01	14.2	5.0	1.6	11.9	19.7
	2	7.3	5.5	23	536	11.0	0.2	2.6	1.51	15.5	5.4	1.5	12.0	22.2
	5	7.8	4.4	30	561	19.6	0.2	3.3	1.99	18.1	5.3	1.5	12.0	22.7
사과전정지	1	7.5	2.2	23	513	8.2	0.1	2.1	0.75	12.3	4.1	1.1	9.3	19.1
	2	7.5	3.9	26	565	11.2	0.2	2.8	1.20	14.5	4.8	1.3	12.4	19.0
	5	7.7	2.0	23	549	13.5	0.2	3.5	1.37	14.8	4.3	1.2	12.6	21.5
버섯폐배지	1	7.9	1.1	24	526	15.0	0.1	2.1	0.60	11.8	4.2	0.9	12.3	17.2
	2	7.7	1.7	25	551	6.2	0.2	2.8	0.64	11.6	4.2	1.3	12.1	21.8
	5	7.6	2.3	28	684	6.4	0.2	3.8	0.95	13.6	5.7	1.8	13.6	21.1

처리내용		pH	EC (dSm^{-1})	OM (g kg^{-1})	Av.P ₂ O ₅ (mg kg^{-1})	NO ₃ -N (mg kg^{-1})	T-N (%)	T-C (%)	Ex.cation(cmol kg^{-1})				CEC (cmol kg^{-1})	수분 (%)
바이오차종류	첨가비(%)								K	Ca	Mg	Na		
왕겨	1	6.8	5.1	25	526	12.7	0.1	2.2	1.08	12.2	4.8	1.4	12.1	20.4
	2	6.8	4.7	26	509	13.1	0.1	2.4	1.34	13.4	4.9	1.5	13.5	20.7
	5	6.5	8.0	30	533	13.8	0.2	3.1	2.52	14.4	6.1	2.1	13.6	22.3
고춧대	1	7.8	3.5	26	615	20.2	0.2	2.3	2.47	14.2	4.8	1.1	12.0	19.9
	2	8.0	6.4	26	691	14.0	0.2	2.5	4.14	15.6	5.6	1.4	12.5	22.1
	5	8.6	3.8	35	999	7.5	0.2	3.2	7.46	17.8	6.0	1.0	12.9	25.1
콩대	1	7.9	2.9	28	562	15.0	0.1	2.1	1.71	14.3	5.1	1.1	12.3	20.3
	2	8.7	1.0	28	585	8.2	0.1	2.6	2.13	13.1	4.6	0.9	13.0	21.4
	5	8.4	3.6	34	680	8.8	0.2	3.6	5.12	16.0	6.5	1.1	13.7	23.0
들깨대	1	8.2	0.8	28	731	3.9	0.1	2.0	1.70	11.8	3.6	0.6	11.9	21.9
	2	8.2	1.0	30	938	4.3	0.1	2.4	2.84	13.7	4.3	0.5	13.3	21.9
	5	8.3	6.6	41	1644	10.5	0.2	3.4	9.87	17.2	6.5	1.5	14.6	23.5

나. 수량 및 시험후 토양의 물리성

농업부산물 바이오차 혼합비율에 따른 토양물리성과 생육 및 수량 등을 조사한 결과는 표 5와 같다. 바이오차 시용시 토양의 용적밀도, 경도는 낮아지고 공극률, 입단율은 높아져 토양 물리성이 개선되는 효과가 나타났으며 바이오차 혼합비율이 증가할수록 효과가 더 크게 나타났다.

버섯폐배지, 들깨대 바이오차를 제외하고는 바이오차 혼합비율이 증가할수록 상추 생육이 양호하고 생체중도 증가하였으나, 바이오차 재료 및 시용량에 따라 생육 및 수량에 차이가 있었다. 바이오차 종류별로는 배 전정지, 사과 전정지 바이오차 처리시 생체중이 가장 많이 증가하였다.

표 5. 상추 수량 및 시험후 토양의 물리성

처리내용		생육(cm)		생체중 (g 포트^{-1})	토양 물리성			
바이오차종류	첨가비(%)	엽장	엽폭		용적밀도 (g cm^{-3})	공극률 (%)	입단율 (%)	토양경도 (mm)
무처리	-	10.4	12.6	88.9	1.32	50.3	3.0	19.9
배 전정지	1	10.8	12.5	93.3	1.32	50.0	3.1	16.0
	2	10.8	13.1	97.6	1.28	51.6	4.6	18.7
	5	11.9	14.8	127.7	1.14	57.0	7.1	19.3
사과 전정지	1	10.1	11.4	88.9	1.29	51.2	3.7	20.3
	2	11.0	13.3	107.7	1.31	50.4	4.2	17.7
	5	12.6	15.7	147.0	1.18	55.6	6.2	18.3

버섯폐배지	1	11.5	13.7	103.7	1.32	50.1	5.7	19.2
	2	11.8	13.6	132.9	1.21	54.3	5.7	19.7
	5	11.2	13.2	83.3	0.99	62.5	5.7	15.8
왕겨	1	11.6	13.3	95.0	1.33	49.7	7.8	18.2
	2	10.3	12.5	105.7	1.29	51.2	6.5	17.2
	5	11.6	13.3	110.6	1.23	53.6	7.8	18.3
고춧대	1	10.7	12.8	102.7	1.33	49.9	8.3	19.2
	2	11.4	13.8	107.7	1.22	54.0	7.1	18.3
	5	11.8	14.5	120.1	1.14	57.0	11.8	16.7

처리내용		생육(cm)		생체중 (g 포트 ⁻¹)	토양 물리성			
바이오차 종류	첨가비(%)	엽장	엽폭		용적밀도 (g cm ⁻³)	공극률 (%)	입단율 (%)	토양경도 (mm)
콩대	1	11.0	12.8	108.0	1.29	51.2	5.7	19.8
	2	11.8	14.3	129.8	1.24	53.1	5.8	19.7
	5	11.6	14.1	123.4	1.10	58.6	7.8	16.3
들깨대	1	11.8	14.4	120.8	1.31	50.6	10.2	17.3
	2	12.2	15.2	114.8	1.24	53.0	8.8	18.8
	5	10.2	12.1	99.5	1.04	60.6	10.5	16.7

<바이오차 연용효과 포장 검정(배추)>

가. 바이오차 제조

농가에서 자가제조하여 활용할 수 있는 농업부산물 바이오차 제조방법 및 이를 이용한 시설재배지 토양개량기술 개발을 위하여 포트재배에서 가장 효과가 뛰어났던 파수 전정지중에서 원료의 원활한 수급을 고려하여 경기도에서 재배면적이 가장 많은 배 전정지를 선택하였다. 바이오차는 단기간 사용보다는 연용시 효과가 증가된다는 선행연구가 많아 '15년부터 '16년까지 시용량별로 2년 연용하여 배추 생육 및 수량 등을 조사하였다(정 등, 2008). 사용한 바이오차는 농가 활용도를 고려하여 기존 시판되고 있는 훈탄기를 사용하여서 제조하였으며 제조방법은 표 6과 같이 500L 드럼통 바이오차 제조장치에 수분 10% 이하의 파쇄한 배 전정지를 넣고 점화시키고 뚜껑을 덮고, 4~5시간 후 연기가 잦아드는 것을 보면서 물을 충분히 흘려 소화시킨 후 하우스 내에서 건조시켜서 사용하였다. 시험에 사용된 배 전정지 바이오차를 (주)대원에서 생산한 왕겨 바이오차 시판품과 비교한 성분특성은 표 7과 같다.

표 6. 드럼통 바이오차 제조장치를 이용한 바이오차 제조방법



표 7. 바이오차의 화학성

바이오차 종류	pH (1:5)	EC (dS m^{-1})	Ex.Cation(cmol kg^{-1})				CEC (cmol kg^{-1})	T-N (%)	T-C (%)	회분 (%)	수율 (%)
			K	Ca	Mg	Na					
배 전정지	9.2	13.6	16.0	7.2	4.7	0.3	28.1	1.2	46.8	15.8	28.2
왕겨(시판품)	10.2	11.2	29.4	3.1	1.8	1.0	35.3	0.6	31.3	43.7	-

나. 토양화학성 변화

'15년부터 '16년까지 2년간 배 전정지 바이오차를 100, 200, 300kg/10a 연용하고 배추를 재배하여 토양화학성을 조사한 결과는 표 8, 표 9와 같다. 바이오차 시용으로 무시용 대비 토양 pH, OM, T-C, K가 증가하였으며 시용량 증가에 따라 토양수분함 증가하였다. 또한 바이오차 시용에 의해서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 감소하고 EC가 낮아져 바이오차 시용에 의해 시설재배지 염류경감 효과가 나타났다.

표 8. 시험전 토양의 화학성

배추 작기	pH (1:5)	EC (dS m^{-1})	OM (g kg^{-1})	Av.P ₂ O ₅ (mg kg^{-1})	NO ₃ -N (mg kg^{-1})	T-N (%)	T-C (%)	Ex.Cation(cmol kg^{-1})			CEC (cmol kg^{-1})
								K	Ca	Mg	
봄 작 기	6.2	5.2	12.4	913	528	0.1	0.9	0.46	11.2	2.9	8.8
가을작기	6.1	7.5	12.8	981	442	0.1	1.0	0.36	11.0	2.8	9.5

표 9. 시험후 토양의 화학성

구 분	바이오차 처리내용	pH	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	T-C (%)	Ex.cation(cmol kg ⁻¹)				수분 (%)
								K	Ca	Mg	CEC	
봄 작 기	무시용	6.3	6.3	12.4	919	313	0.8	0.38	105	2.8	9.4	8.3
	배전정지 100kg/10a	6.3	6.4	12.9	939	372	0.8	0.42	109	2.9	9.5	11.8
	배전정지 200kg/10a	6.4	5.3	13.3	950	188	1.1	0.46	99	2.5	9.2	13.5
	배전정지 300kg/10a	6.5	3.7	13.2	956	140	1.2	0.43	94	2.4	9.4	13.2
	왕겨 200kg/10a	6.2	7.0	13.3	936	453	1.0	0.48	109	3.0	9.5	12.9
가 을 작 기	무시용	6.7	1.8	12.5	902	60	0.8	0.35	7.8	1.9	9.4	10.8
	배전정지 100kg/10a	7.1	1.9	13.0	925	36	0.9	0.46	8.1	1.9	9.5	13.1
	배전정지 200kg/10a	7.2	1.6	13.5	901	36	1.1	0.41	7.8	1.9	9.5	13.3
	배전정지 300kg/10a	7.4	0.9	13.3	918	17	1.1	0.46	7.4	1.7	9.7	13.9
	왕겨 200kg/10a	7.1	2.2	12.8	912	39	1.0	0.38	8.1	2.0	9.8	14.1

다. 배추 생육 및 수량

배전정지 바이오차를 2년 연용하고 봄작기, 가을작기에서 수확기 배추 생육과 수량을 조사한 결과는 표 10과 같다. 바이오차 시용으로 무처리 대비 배추 생육이 양호하였으며 수량은 봄작기에는 무시용 10,590kg/10a 대비 11,968kg/10a까지 증가하였고, 가을작기에는 11,315kg/10a 대비 13,595kg/10a로 증가하여 배전정지 바이오차 300kg/10a 시용시 최대수량을 나타내었다.

표 10. 배추 생육 및 수량

바이오차 처리내용	봄작기			가을작기		
	엽장	엽폭	생체중 (kg 10a ⁻¹)	엽장	엽폭	생체중 (kg 10a ⁻¹)
무시용	36.8	30.9	10,590 ^b	52.5	37.2	11,315 ^b
배전정지 100kg/10a	38.2	31.6	10,055 ^b	55.4	39.1	12,972 ^a
배전정지 200kg/10a	38.4	32.3	11,224 ^{ab}	56.2	38.6	12,698 ^{ab}
배전정지 300kg/10a	38.9	32.1	11,968 ^a	56.2	39.2	13,595 ^a
왕겨 200kg/10a	38.2	32.3	10,197	57.1	39.7	13,811

라. 시험후 토양의 물리성

배 전정지 바이오차를 시용하고 배추를 재배한후 토양의 물리성을 조사한 결과는 표 11과 같다. 바이오차 시용에 의해서 토양의 용적밀도, 경도가 낮아지고 공극률 및

입단율은 높아지는 경향을 보였으며 바이오차 시용량이 증가할수록 경향이 더 커져 바이오차 시용이 토양 물리성 개선에 효과가 있는 것으로 나타났다.

표 11. 토양의 물리성

바이오차 처리내용	봄작기				가을작기			
	용적밀도 (Mg m ⁻³)	공극률 (%)	입단율 (%)	토양경도 (mm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	공극률 (%)	입단율 (%)	토양경도 (mm)
무시용	1.36 ^a	49.1 ^{ns}	4.4 ^{ns}	18.2 ^a	1.36 ^a	48.6 ^b	3.4 ^{ns}	16.8 ^a
배전정지 100kg/10a	1.30 ^b	50.4	5.2	17.5 ^a	1.35 ^a	49.2 ^b	3.3	15.7 ^{ab}
배전정지 200kg/10a	1.27 ^b	51.4	5.2	17.2 ^a	1.30 ^{ab}	51.1 ^a	4.2	15.2 ^{ab}
배전정지 300kg/10a	1.30 ^b	51.3	4.9	16.0 ^b	1.28 ^b	51.5 ^a	3.7	14.5 ^b
왕겨 200kg/10a	1.31	50.5	5.1	17.1	1.30	50.8	4.4	15.4

<바이오차 연용효과 포장 검정(토마토)>

가. 토양화학성 변화

농업기술원내 비닐하우스에서 '15년부터 '16년까지 2년간 배 전정지 바이오차를 100, 200, 300kg/10a 연용하고 토마토를 재배하여 토양화학성을 조사한 결과는 표 12, 표 13과 같다. 바이오차 시용으로 무시용 대비 토양 pH, OM, T-C, K가 증가하였으며 시용량 증가에 따라 토양수분함량도 증가하여 배추재배시와 동일한 경향을 나타내었다.

표 12. 시험전 토양의 화학성

구 분	pH	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	T-N (%)	T-C (%)	Ex.cation(cmol _c kg ⁻¹)			
								K	Ca	Mg	CEC
봄작기	6.4	3.7	10.4	381	234	0.1	0.7	0.97	6.8	2.3	8.8
가을작기	6.6	4.6	11.2	490	195	0.1	0.9	0.78	6.9	2.3	8.2

표 13. 시험후 토양의 화학성

구분	바이오차 처리내용	pH	EC (dSm)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	T-C (%)	Ex.cation(cmol _c kg ⁻¹)				수분 (%)
								K	Ca	Mg	CEC	
봄작기	무시용	7.2	1.7	11.7	418	19	0.6	0.48	5.3	1.6	8.6	13.1
	배전정지 100kg/10a	7.4	1.2	13.4	467	22	0.8	0.85	5.2	1.6	8.7	16.1
	배전정지 200kg/10a	7.7	0.8	12.2	439	7	0.9	0.66	5.5	1.7	8.8	16.0
	배전정지 300kg/10a	7.6	0.8	12.4	450	11	0.9	0.67	6.3	2.4	8.6	16.4
	왕겨 200kg/10a	7.3	0.9	12.7	399	21	0.8	0.64	5.9	2.5	8.4	16.7
가을작기	무시용	6.9	0.7	10.7	443	18	0.6	0.49	6.0	1.8	8.0	13.0
	배전정지 100kg/10a	7.2	0.7	13.7	487	14	0.8	0.83	6.4	2.0	8.4	14.2
	배전정지 200kg/10a	7.1	1.0	11.3	478	19	0.8	0.72	6.3	2.0	8.0	13.6
	배전정지 300kg/10a	7.1	0.6	11.4	552	7	0.9	0.62	6.4	2.1	8.1	14.1
	왕겨 200kg/10a	6.7	0.7	11.3	493	18	0.9	0.70	6.0	2.0	8.1	14.3

나. 토마토 생육 및 수량

배전정지 바이오차를 2년 연용하고 봄작기와 가을작기 토마토 수량을 조사한 결과는 표 14와 같다. 바이오차 시용으로 무처리 대비 정상과수가 증가하였으나 당도는 차이가 없었다. 수량은 봄작기에는 무시용 7,444kg/10a 대비 7,836kg/10a까지 증가하였고 가을작기에는 10,672kg/10a 대비 11,495kg/10a로 증가하여 배전정지 바이오차 200kg/10a 시용시 최대수량을 나타내었다.

표 14. 토마토 수량

바이오차 처리내용	봄작기				가을작기			
	평균과중 (g)	정상과수 (개 주 ⁻¹)	생체중 (kg 10a ⁻¹)	당도 (Brix)	평균과중 (g)	정상과수 (개 주 ⁻¹)	생체중 (kg 10a ⁻¹)	당도 (Brix)
무시용	226.8	14.7	7,444 ^{ns}	6.4	334.3 ^{ns}	14.9 ^b	10,672 ^b	4.5
배전정지 100kg/10a	215.5	15.7	7,451	6.7	332.7	17.2 ^a	12,264 ^a	4.4
배전정지 200kg/10a	224.4	15.7	7,836	6.6	339.4	15.9 ^{ab}	11,495 ^{ab}	4.3
배전정지 300kg/10a	207.1	15.7	7,622	6.5	330.2	15.2 ^b	10,937 ^b	4.5
왕겨 200kg/10a	223.2	16.0	8,477	6.2	341.7	14.9	11,524	4.1

다. 시험후 토양의 물리성

배 전정지 바이오차를 시용하고 바이오차를 재배한 후 토양의 물리성을 조사한 결

과는 표 15와 같다. 바이오차 시용에 의해서 토양의 용적밀도와 경도가 낮아지고 공극률 및 입단율은 높아지는 경향을 보였으며 바이오차 시용량이 증가할수록 경향이 더 커져 바이오차 시용이 토양 물리성 개선에 효과가 있는 것으로 나타났다.

표 15. 시험후 토양의 물리성

바이오차 처리내용	봄작기				가을작기			
	용적밀도 (Mg m ⁻³)	공극률 (%)	입단율 (%)	토양경도 (mm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	공극률 (%)	입단율 (%)	토양경도 (mm)
무시용	1.24 ^a	53.4 ^b	5.9 ^c	13.6 ^a	1.16 ^a	56.1 ^b	3.3 ^b	17.1 ^a
배전정지 100kg/10a	1.19 ^b	55.0 ^a	8.3 ^{ab}	10.5 ^b	1.14 ^{ab}	57.2 ^{ab}	5.6 ^{ab}	14.4 ^b
배전정지 200kg/10a	1.21 ^{ab}	54.4 ^{ab}	9.0 ^a	11.0 ^b	1.12 ^{ab}	57.6 ^{ab}	6.0 ^a	13.8 ^b
배전정지 300kg/10a	1.22 ^{ab}	54.0 ^{ab}	6.7 ^{bc}	10.3 ^b	1.05 ^b	60.5 ^a	5.8 ^a	13.6 ^b
왕겨 200kg/10a	1.20	54.8	8.7	11.0	1.08	59.3	5.2	14.7

4. 적 요

본 시험은 '14년부터 '16년까지 3년간 도내 농업부산물 종류별로 제조온도와 가열시간별로 바이오차를 제조하여 최적의 바이오차 제조조건을 확립하고 이를 이용하여 시설재배지 염류경감과 토양구조 개선 효과를 구명하기 위하여 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 가. 농업부산물 바이오차 제조시 제조온도가 높을수록 pH, K, CEC는 증가하였고 이러한 성분변화는 500℃에서 급격히 일어났다. 하지만 제조온도가 증가할수록 회분함량이 증가하고 T-C와 수율은 감소하여 제한요인으로 작용하였다. 또한 가열시간에 따른 성분변화는 크게 나타나지않아 바이오차 제조시에는 가열시간보다는 재료와 온도에 따라 성분변화가 큰 것으로 나타났다. 따라서 바이오차 성분변화 및 회분, 수율을 고려하여 농업부산물 바이오차 제조조건은 500℃, 2시간으로 설정하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다.
- 나. 상추 포트재배 결과, 바이오차 혼합비율이 증가할수록 토양 pH, OM, Av.P₂O₅, T-C, CEC, K, Ca가 증가하였다. 사과, 배전정지 바이오차 시용시 가장 양호한 생육과 수량을 나타내었다.
- 다. 배추와 토마토 시설재배시 바이오차 시용으로 무시용 대비 토양 pH, OM, T-C가 증가하고 EC, NO₃-N가 감소하였으며, 토양수분함량이 증가하였다. 또한 바이오차 시용시 토양의 용적밀도, 경도가 낮아지고 공극률 및 입단율은 높아지는 경향을 보여 토양 물리성이 개선되는 효과가 나타났다.
- 라. 배전정지 바이오차를 연용한 결과 바이오차 시용으로 배추 생육이 양호하고 수량이 증가하였으며 배전정지 바이오차 300kg/10a 시용시 최대수량을 나타내었다.
- 마. 토마토 재배시, 바이오차 연용으로 토마토 생육이 양호하고 수량이 증가하였으며 배전정지 바이오차 200kg/10a 시용시 최대수량을 나타내었다.

5. 인용문헌

- 농촌진흥청. 2003. 농업과학기술 연구조사분석 기준
- 농촌진흥청 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법
- 김미형, 김건하. 2014. 폐목재를 이용한 바이오차 생산 및 토양적용의 환경평가. 대한 환경공학회지. 36(7) : 461-468.
- 서영호, 김세원, 최승출, 김인중, 김경희, 김건엽. 2012. 녹비작물과 바이오숯의 고추 재배지 아산화질소 배출량 저감 효과. 한국토양비료학회지. 45(4) : 540-543.
- 신중두, 최용수, 이선일, 홍성창, 김명숙, 허정욱. 2016. Plant Responses of Biochar Pellet for Development of Carbon Sequestration Technology in Soil. 한국환경농학회. 47.
- 우승한. 2013. 토양탄소격리를 위한 바이오차. 한국청정기술학회지. 19(3) : 201-211.
- 정순재, 오주성, 석운영, 조미용. 2008. 목질탄화물의 처리가 토마토와 배추의 생육 및 체내성분에 미치는 영향. 한국유기농업학회지. 16(4) : 455-469.
- 최용수, 신중두, 이선일, 김성철. 2015. 토양환경 ; 왕겨 바이오차의 암모늄태 질소 (NH₄-N) 흡착 특성. 한국환경농학회지 34(3) : 155-160.
- 한경화, 장용선, 정강호, 조희래, 손연규. 2014. 왕겨 바이오차 및 음식물쓰레기 바이오차가 밭 사양토에서 상추밭아 및 수용성 유기탄소 용출에 미치는 영향 평가. 농업과학연구지. 41(4) : 369-377.

6. 연구결과 활용제목

- 농업부산물 바이오차 제조 및 시용효과(영농활용)

7. 연구원 편성

세 부 과 제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도
						'15~'16
녹비작물 이용 신간척지 지력향상 기술 개발	책임자	농업기술원 환경농업연구과	농업연구사	장재은	시험수행 총괄	'15~'16
	공동연구자	"	농업연구관	박중수	자료조사	'15~'16
		"	농업연구사	노안성	생육조사	'15~'16
		"	농업연구사	박영수	생육조사	'15~'16
		"	농업연구관	강창성	시험추진 지도	'15~'16